

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)

_____магістра

(освітній ступінь)

на тему «Оптимізація рішень при плануванні місій безпілотних літальних апаратів»

XAI.302.366.24O.122. 203091 ПЗ

Виконав: здобувач 6 курсу групи № 366
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

(код та найменування)

Освітня програма Комп'ютеризація
обробки інформації та управління

_____Калюга І.О.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: доц. каф. 302, к.т.н.

_____Малєєва Ю.А.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Плехова Г.А.

(прізвище й ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів
 Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
 (код та найменування)
 Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
 Освітня програма Комп'ютеризація обробки інформації та управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ФЕДОРОВИЧ

(підпис) (ім'я та прізвище)
 «08» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Калюга Іллі Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Оптимізація рішень при плануванні місій безпілотних літальних апаратів

керівник кваліфікаційної роботи Малєєва Ю.А., к.т.н., доц. каф. 302,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 2050-уч. від « 06» листопада 2024 року

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 15.12.2024

3. Вихідні дані до проекту (роботи) бібліотека PuLP, CPLEX Optimizer від IBM ILOG, модуль для визначення відстані Haversine, бібліотека Gmaps, бібліотека Googlemaps та Geocoding API

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати) аналіз існуючих підходів до маршрутизації у тому числі за участю БПЛА; формалізація задачі маршрутизації у логістичних системах з використанням БПЛА; програмна реалізація математичної моделі оптимізації з можливістю візуалізації маршрутів на карті; проведення експериментів з розробленою моделлю для оцінки її ефективності та аналізу результатів

5. Перелік графічного матеріалу планування місій БПЛА; ціль та задачі дослідження; проблеми маршрутизації БПЛА; задачі маршрутизації з дронами;

Vehicle Routing Problem with Drones; математична модель для завдання маршрутизації логістичних систем з БПЛА; програмна реалізація моделі оптимізації; генерація місцезнаходження клієнтів і матриць відстаней; візуалізація розташувань споживачів на карті; програмна реалізація математичної моделі оптимізації маршрутів; вирішення завдання CPLEX; візуалізація результатів у Google Maps; проведення експериментів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з основної частини	Малєєва Ю.А. доц. каф. 302		
з спеціального розділу	Малєєва Ю.А. доц. каф. 302		
з економіки та управління	Малєєва Ю. А. доц. каф. 302		

Нормоконтроль _____ Олександр ПРОХОРОВ «__» _____ 20__ р.
(підпис) (імя та прізвище)

7. Дата видачі завдання «_06_» _вересня_ 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО МАРШРУТИЗАЦІЇ БПЛА ПРИ ПЛАНУВАННІ МІСІЙ	06.09 – 20.09	
2	ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАВДАННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ ЗА УЧАСТЮ БПЛА	21.09 – 28.09	
3	РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ	29.09 – 20.10	
4	ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З СИСТЕМОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ БПЛА	21.10 – 20.11	
5	ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	20.11 – 25.11	

Здобувач _____ Ілля КАЛЮГА
(підпис) (імя та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Юлія МАЛЄЄВА
(підпис) (імя та прізвище)

УДК 004.8

РЕФЕРАТ

Оптимізація рішень при плануванні місій безпілотних літальних апаратів – Калюга Ілля, кваліфікаційна робота магістра, Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», кількість сторінок, враховуючи додатки 66, кількість таблиць 15, кількість рисунків 21, кількість джерел літератури 19.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: логістичні системи, безпілотний літальний апарат, дрон, маршрутизація, оптимізація, планування місій.

ЦІЛЬ: розробка та оптимізація методів для планування маршрутів безпілотних літальних апаратів у логістичних системах, зокрема для задачі Vehicle Routing Problem with Drones.

ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: процес планування маршрутів для безпілотних літальних апаратів у логістичних системах.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: моделі та засоби оптимізації для вирішення задачі маршрутизації у системах планування місій за участю БПЛА.

ЗАДАЧІ: аналіз існуючих підходів до маршрутизації у тому числі за участю БПЛА; формалізація задачі маршрутизації у логістичних системах з використанням БПЛА; програмна реалізація математичної моделі оптимізації з можливістю візуалізації маршрутів на карті; проведення експериментів з розробленою моделлю для оцінки її ефективності та аналізу результатів.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ: методи комбінаторики, методи оптимізації, мова програмування Python, розв’язувач задач оптимізації CPLEX.

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ: Розроблено програмне забезпечення, що реалізує математичну модель задачі маршрутизації в логістичних системах за участю безпілотних літальних апаратів з відображенням маршрутів на картах Google Maps.

UDC 004.8

ABSTRACT

Optimization of solutions for planning missions of unmanned aerial vehicles – Illya Kalyuha, Master Thesis, Kharkiv, National Aerospace University “KhAI”, amount of pages 66, amount of tables 15, amount of figures 21, amount of literature’s sources 19.

KEYWORDS: logistics systems, unmanned aerial vehicle, drone, routing, optimization, mission planning.

PURPOSE OF RESEARCH: development and optimization of methods for planning routes of unmanned aerial vehicles in logistics systems, particularly for the Vehicle Routing Problem with Drones.

OBJECT OF RESEARCH: the process of planning routes for unmanned aerial vehicles in logistics systems.

SUBJECT OF RESEARCH: models and optimization tools for solving the routing problem in mission planning systems involving UAVs.

TASKS: analysis of existing approaches to routing, including those involving UAVs; formalization of the routing problem in logistics systems using UAVs; software implementation of a mathematical optimization model with the ability to visualize routes on a map; conducting experiments with the developed model to assess its effectiveness and analyze the results.

METHODS OF RESEARCH: combinatorial methods, optimization methods, Python programming language, CPLEX optimization problem solver.

RESULTS: Software has been developed that implements a mathematical model of the problem of routing in logistics systems involving unmanned aerial vehicles with the display of routes on Google Maps.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО МАРШРУТИЗАЦІЇ БПЛА ПРИ ПЛАНУВАННІ МІСІЙ.....	10
1.1 Безпілотні літальні апарати.....	10
1.2 Проблеми маршрутизації БПЛА.....	11
1.2.1 Traveling Salesman Problem with Drone	12
1.2.2 Flying Sidekick Traveling Salesman Problem.....	14
1.2.3 Vehicle Routing Problem with Drones	17
Висновки за розділом.....	19
2 ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАВДАННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ ЗА УЧАСТЮ БПЛА	20
2.1 Математичні позначення задачі маршрутизації логістичних систем з БПЛА	20
2.2 Опис математичної моделі для завдання маршрутизації логістичних систем з БПЛА.....	20
Висновки за розділом.....	23
3 РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ	24
3.1 Бібліотеки для реалізації системи та початкові налаштування.....	24
3.2 Генерація місцезнаходження клієнтів і матриць відстаней.....	25
3.3 Візуалізація розташувань споживачів на карті.....	28
3.4 Програмна реалізація математичної моделі оптимізації маршрутів	30
3.5 Візуалізація результатів	34
Висновки за розділом.....	38
4 ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З СИСТЕМОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ БПЛА.....	39
4.1 Експерименти з оптимізаційною моделлю. Експеримент 1	39
4.2 Експерименти з оптимізаційною моделлю. Експеримент 2	41
Висновки за розділом.....	44
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	45
5.1 Мета розділу	45
5.2 Визначення тривалості та розрахунок собівартості виконання проекту (перший варіант).....	45

5.3 Визначення тривалості та розрахунок собівартості виконання проекту (другий варіант).....	50
Висновки за розділом.....	54
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	56
ДОДАТОК А. Графічні матеріали.....	58

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) ширше, ніж будь-коли раніше, застосовують як у цивільній, так і у військовій сферах. Так, різні види БПЛА все частіше використовують у логістиці, для контролю технічного стану, безпеки та процесів функціонування різних об'єктів і систем, зокрема у сфері захисту довкілля, аграрному секторі, лісовому господарстві, на залізничному транспорті, при організації морських пошуково-рятувальних операцій, для потреб поліції, у протипожежних роботах, для інспекції стану конструкцій, трубопроводів тощо. БПЛА стали також невід'ємною частиною перспективного озброєння сучасних армій. Військові активно їх застосовують не лише в розвідувальних місіях, при патрулюванні, для коригування вогню, а й для ліквідації ворожих цілей.

Останнім часом одним з основних напрямів розробок у військовій сфері стає використання не окремих БПЛА, а цілих їх груп, перед якими ставиться конкретне завдання. Це зумовлює необхідність забезпечення мережевої взаємодії, яка може передбачати об'єднання в групи не лише БПЛА, а й пілотованих повітряних, надводних чи транспортних засобів, мультиплатформне підключення БПЛА та ефективну взаємодію між усіма компонентами такого командного об'єднання.

В цій роботі запинимось на важливому нині напрямі – питаннях оптимального планування місій безпілотних авіаційних комплексів, до яких входять БПЛА. Формальна постановка таких проблем приводить до задач комбінаторної оптимізації підвищеної розмірності та складності. Роботу буде присвячено розробці та дослідженню оптимізаційної моделі для розподілу завдань і планування маршрутів в логістичних системах з використанням БПЛА. Досліджуються способи доставки «останньої милі» – в даному випадку в зоні бойових дій.

Мета дослідження – розробка та оптимізація методів для планування маршрутів безпілотних літальних апаратів у логістичних системах, зокрема для задачі Vehicle Routing Problem with Drones.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні **завдання**:

1. Аналіз існуючих підходів до маршрутизації у тому числі за участю БПЛА.
2. Формалізація задачі маршрутизації у логістичних системах з використанням БПЛА.
3. Програмна реалізація математичної моделі оптимізації з можливістю візуалізації маршрутів на карті.

4. Проведення експериментів з розробленою моделлю для оцінки її ефективності та аналізу результатів.

Об’єкт дослідження – процес планування маршрутів для безпілотних літальних апаратів у логістичних системах.

Предмет дослідження – моделі та засоби оптимізації для вирішення задачі маршрутизації у системах планування місій за участю БПЛА.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує математичну модель задачі маршрутизації в логістичних системах за участю безпілотних літальних апаратів з відображенням маршрутів на картах Google Maps.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків та переліку посилань. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 66 сторінок, в тому числі: 21 рисунок; 15 таблиць; 1 додаток на 9 сторінках; перелік посилань з 19 найменувань на 2 сторінках.